



المملكة المغربية
ROYAUME DU MAROC

وزارة الانتقال الطاقوي والتنمية المستدامة
Ministère de la Transition Énergétique
et du Développement durable

Rapport de projet d'exploration dans la LE n°383719

Cartographie géologique : Etude
Géologique et minéralogique de la
minéralisation cuprifère
de la zone de Boulmaad-Igoulmass
(Boutonnière de Saghro, Anti-Atlas
Oriental, Maroc)

SOMMAIRE

Introduction générale	4
I. Les différents domaines structuraux du Maroc	6
1. Le domaine rifain.....	7
2. Le domaine mésetien et atlasique	7
2.1 Les Mesetas	7
2.2 Moyen Atlas	7
3. Le Haut Atlas.....	7
4. Le domaine anti-atlasique et son prolongement saharien	8
II. Situation géographique de l'Anti-Atlas.....	8
III. Géologie de l'anti- Atlas	9
IV. Modèle géodynamique à 5 phases proposé pour l'Anti-Atlas	11
V. Contexte métallogénique de l'Anti-Atlas	13
VI. Contexte géologique et géographique du massif de Saghro	14
Introduction.....	14
VII. Cadre lithostratigraphique du massif de Saghro	14
1. Structures tectoniques de Jbel Saghro.....	15
Introduction.....	18
I. Accès et situation géographique.....	19
II. Cadre géologique.....	20
I. Etude minéralogique.....	24
Introduction.....	24
1. La minéralisation de Cuivre.....	24
2. Morphologie des filons minéralisés	26
II. Calcul des réserves.....	33
1. Les réserves certaines	34
2. Les réserves probables	34
3. Les réserves possibles.....	35
III. Méthodes d'exploitation et recommandations	35
Conclusions.....	37

Liste des Figures

Figure 1 : Les domaines structuraux du Maroc d'après (Michard. Al, 2011).....	6
Figure 2: Situation géographique de l'Anti-Atlas.....	9
Figure 3: Carte géologique de l'Anti-Atlas (Leblanc, 1975 modifiée par Baidder, 2007)	10
Figure 4: Modèle géodynamique à 5 phases proposé pour l'Anti-Atlas (Thomas et al., 2002).....	12
Figure 5: Carte géologique simplifiée montrant la distribution des districts et indices minéralisés de l'Anti-Atlas (Gasquet et al., 2008)	14
Figure 6: Carte géologique du Jbel Saghro (d'après Hindermeier et al. 1977, modifiée d'après Tuduri 2005).....	15
Figure 7: Image satellitaire montre des linéaments du Jbel Saghro : Caractérisation de la direction N060-090°E comme famille majeure. (Tuduri 2005)	16
Figure 8: GPS GARMIN	18
Figure 9: Extrait de la carte montrant la situation géographique du permis minier LE n° 383719, données de la carte géologique d'Iknioun à l'échelle 1/50000.	19
Figure 10: vue d'une image satellitaire, montrant la situation géographique du permis minier LE n°383719.....	20
Figure 11: La carte géologique de permis minier LE	22
Figure 12: la représentation stéréographique des structures minéralisées.....	24
Figure 13: La carte des différentes structures minéralisées	25
Figure 14: Localisation des structures minéralisées de permis dans la carte:	26
Figure 15: Photos montrent l'abondance des oxydes de fer.....	27
Figure 16: la structure minéralisée contenant le quartz aurifère.	28
Figure 17: Tranché dans la structure de quartz aurifère dans la zone I.....	28
Figure 18: Image montre les travaux réalisés contenant le puits à son fond et la minéralisation selon la profondeur atteinte (malachite, bornite, chalcosine et chalcopyrite).....	31
Figure 19: Images montrent la minéralisation cuprifère: A, B, C et D : la malachite E et F montre la chalcosine, la bornite et la chalcopyrite

Liste des Tableaux

Tableau 1: Les coordonnées de permis minier LE n°383719.....	19.
Table 2: Les caractéristiques de la structure minéralisée de quartz aurifère (Zone I).....	28
Table 3: les caractéristiques des différentes tranchées réalisées sur la structure de quartz aurifère.	29
Table 4: les caractéristiques de la structure minéralisée de quartz de la zone II.....	29
Table 5: les mesures et les caractéristiques des minéralisations exploitables dans les deux zones de permis minier LE n° 383719.....	33
Table 6: Tableau montre les calculs des réserves en Tonnage cubé.	35

Introduction générale :

L'histoire géologique du Maroc depuis les périodes les plus anciennes (l'accrétion des boucliers Paléoprotérozoïque (ex. boutonnières de Zenaga et d'Ighrem) en passant par la formation de la chaîne panafricaine (Anti-Atlas) et de la chaîne varisque (Meseta), l'ouverture de l'atlantique central (Haut-Atlas), jusqu'à les périodes récentes et la formation de la chaîne Alpine (Le Rif et Haut-Atlas) fut à l'origine du grand intérêt géologique suscité par cette zone de Craton Ouest Africain, mais également une zone particulièrement complexe.

Anti-Atlas marocain est l'un des lieux géologiques qui expose une vaste province métallogénique, qui renferme un grand nombre de gisements métallifères du groupe Ag-Au-Ba-Ni-Co-Cu-Zn dont l'étude de la distribution dans l'espace et dans le temps demeure là-bas nécessaire à l'élaboration de modèles conceptuels indispensables aux programmes d'exploration.

L'industrie minière joue un rôle primordial dans le développement économique et social de notre pays. Pour cette raison les travaux de recherches sont effectués afin de valoriser et exploiter les potentiels des gisements de Royaumes.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet d'exploration dans la zone de Boulmaad-Igoulmass. Ce projet a été effectué au sein de la société minière *****,

L'objectif principal de ce projet est de guider l'exploration et de fournir une meilleure compréhension de la géologie locale, des différentes unités lithologiques et de la distribution de la minéralisation, et également pour comprendre la déformation locale.

Chapitre I :
Aperçu général sur la géologie du
Maroc

I. Les différents domaines structuraux du Maroc :

Au cours de son histoire géologique, le Maroc a enregistré divers cycles orogéniques : cycle précambrien, hercynien et alpin. Ces cycles sont à l'origine de la configuration structurale actuelle du pays en trois grands domaines structuraux (Choubert et Marcais, 1956 ; Michard, 1976 ; Piqué et Michard, 1989 ; Piqué, 1994 ; Fig. 1). Du Nord au Sud, on distingue le domaine rifain, mis en place pendant l'orogénèse alpine ; le domaine atlasique (Haut Atlas et Moyen Atlas) et le domaine mésetien, avec un substratum déformé et structuré durant l'orogénèse hercynienne et enfin le domaine anti-atlasique et saharien, structuré au cours des orogénèses éburnéenne et panafricaine.

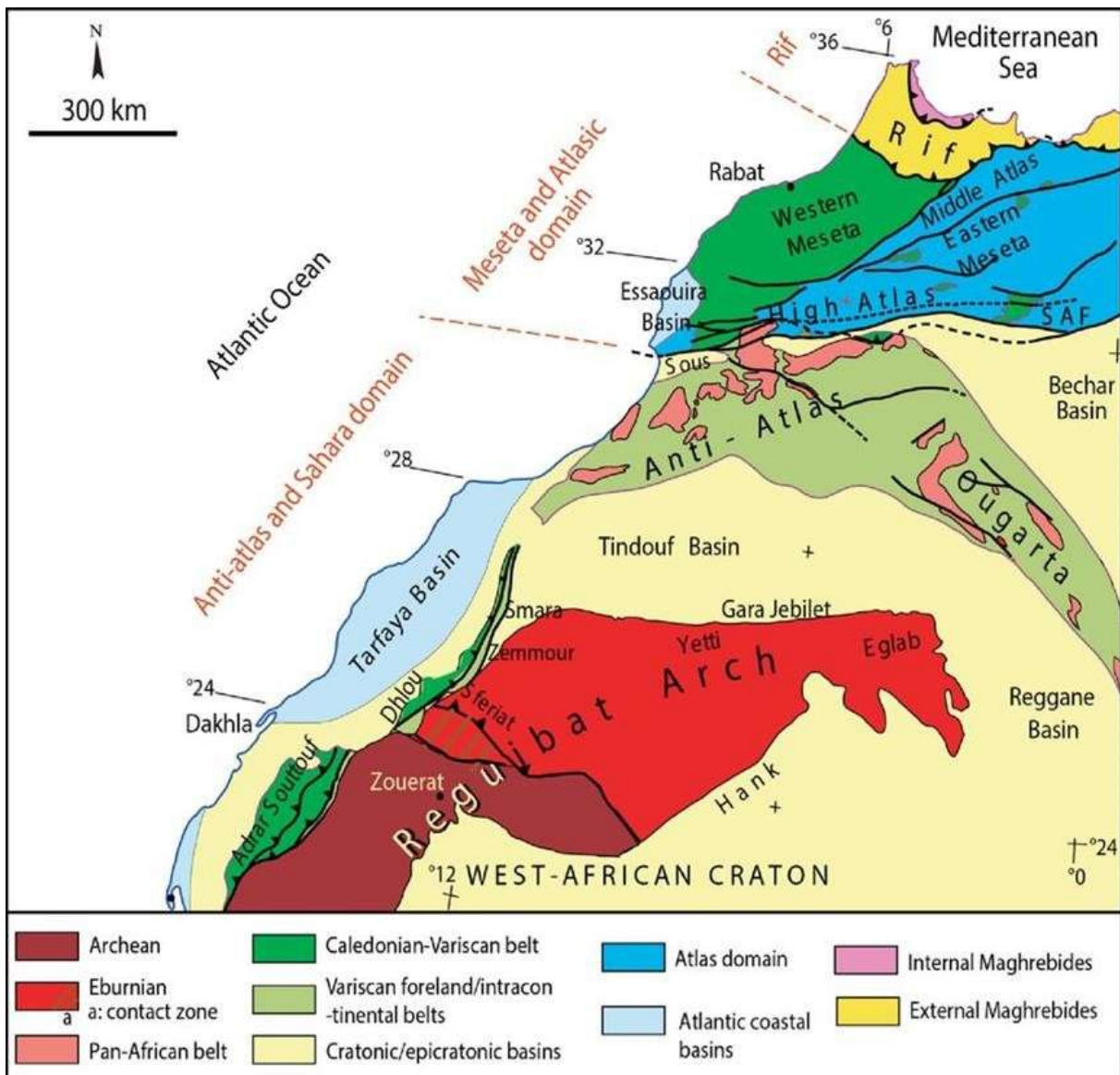


Figure 1 : Les domaines structuraux du Maroc d'après (Michard. Al, 2011).

1. Le domaine rifain :

Il s'agit d'un segment de la chaîne alpine périméditerranéenne qui représente la limite septentrionale du Maroc. Il constitue avec les cordillères bétiques espagnoles l'arc bético-rifain. Cet ensemble montagneux se caractérise par le développement de nappes de charriage à matériel d'âge secondaire et tertiaire. Il se prolonge vers l'Est par le Tell algérien et Tunisien (Michard et al., 2008).

2. Le domaine mésetien et atlasique :

Le domaine mésetien et atlasique se situe entre l'Accident Sud Atlasique au Sud et la limite sud du Pré-Rif au Nord. Il est représenté par les Mesetas occidentale et orientale, le Moyen Atlas et le Haut Atlas.

2.1 Les Mesetas :

Le domaine mésetien est réparti en deux zones (Mesetas occidentale et orientale) séparées l'une de l'autre au niveau des nappes orientales. La Meseta occidentale comprend trois massives paléozoïques pénéplaines : le Maroc central, la Meseta côtière nord-occidentale, les massifs des Rehamna et des Jebilets et ses annexes du Haouz. Tandis que la Meseta orientale est représentée par le massif de Midelt, la chaîne des horsts et de Tazzeka. Ce socle a été structuré par l'orogénèse hercynienne responsable aussi de la mise en place de nombreuses intrusions de granitoïde syn à tardi-tectonique (Michard, 1976).

2.2 Moyen Atlas :

Moyen Atlas est une chaîne de direction NE-SW qui sépare les deux zones mésetiennes, orientale et occidentale. Il s'agit d'une chaîne intracontinentale qui se sépare du Haut Atlas dans la région de Beni-Mellal. Il regroupe deux entités structurales différentes : le Moyen Atlas tabulaire appelé cause moyen atlasique et le Moyen Atlas plissé.

3. Le Haut Atlas :

Le Haut-Atlas est une branche montagneuse orientée ENE-WSW à EW parallèlement à la Méditerranée. Il s'étend depuis l'Atlantique marocain jusqu'en Tunisie sur environ 2500 km de longueur et 50 à 100 km de largeur. Le Haut Atlas est défini comme une chaîne intracontinentale à substratum paléozoïque et à couverture mésozoïque. Il est formé durant la succession des épisodes extensifs et compressifs qui révèlent l'histoire mésozoïque et cénozoïque du Maroc (Laville et al. 2004). Cette chaîne est principalement affectée par des failles héritées de l'orogénèse varisque (Piqué et al. 2002). Le Haut Atlas est subdivisé en trois grands ensembles : le Haut Atlas Occidental, Central et Oriental.

4. Le domaine anti-atlasique et son prolongement saharien :

La chaîne de l'Anti-Atlas marocain est située sur la bordure nord du Craton Ouest Africain et limitée par l'Accident Sud-Atlasique au Nord. Sa forme générale est un vaste anticlinal d'orientation ENE-WSW, formé en son cœur de boutonnières du socle et sur ses flancs d'une couverture plissée. Le socle précambrien recèle les traces des orogénèses éburnéenne et panafricaine (Choubert, 1963).

II. Situation géographique de l'Anti-Atlas

L'Anti-Atlas Marocain fait partie du Craton Ouest Africain dont il constitue la bordure nord méta cratonique (Ennih et Liégeois 2001). Il est limité au Nord par la chaîne alpine du Haut Atlas, à l'Ouest par l'Océan Atlantique et à l'Est par les bassins de Tafilalet et Bechar. Il a été le siège des orogénèses éburnéenne, panafricaine et hercynienne qui se rattachent respectivement au Paléoprotérozoïque, au Néoprotérozoïque et au Paléozoïque. Les terrains du Protérozoïque affleurent en un ensemble de boutonnières au sein des formations paléozoïques.

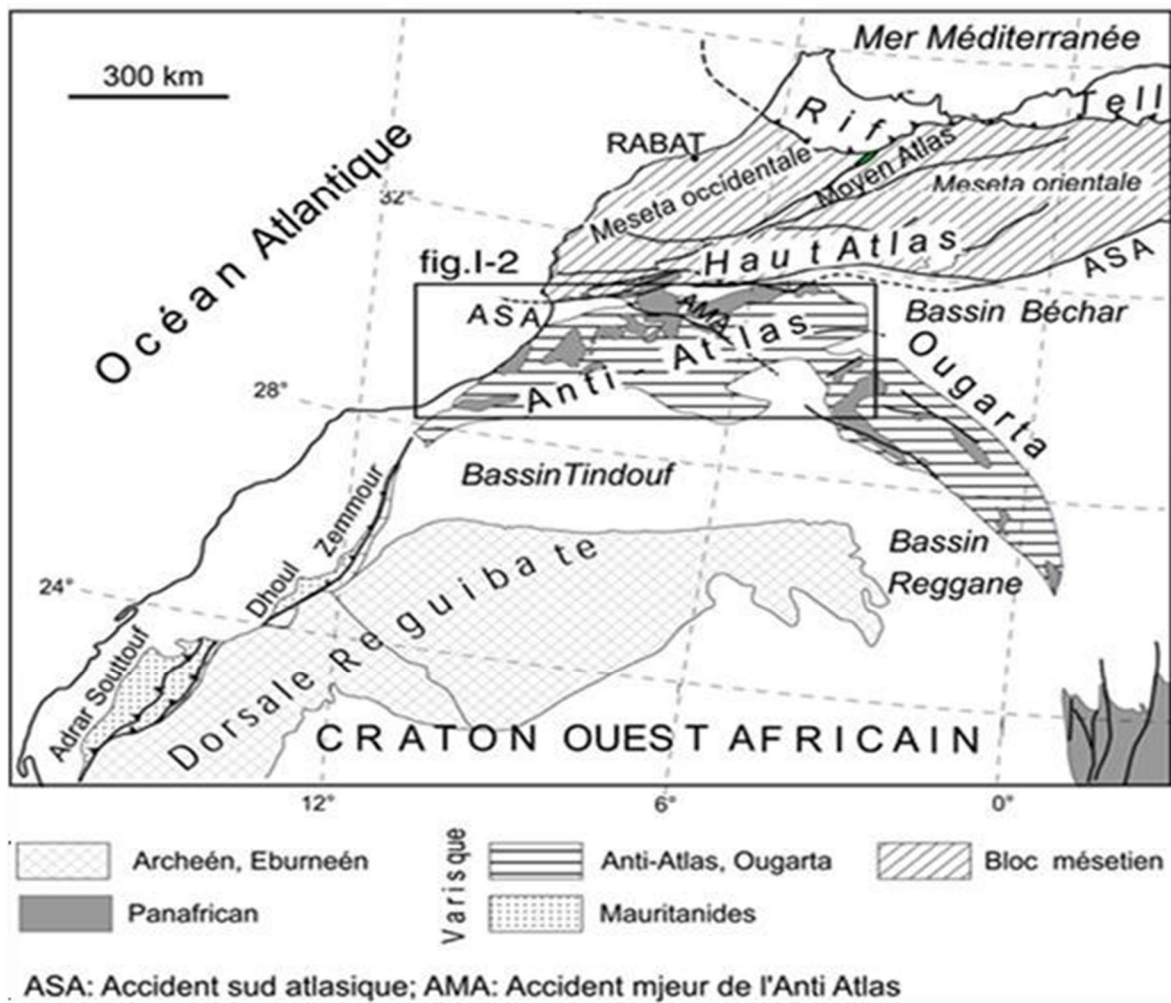


Figure 2: Situation géographique de l'Anti-Atlas

III. Géologie de l'anti- Atlas

La chaîne de l'Anti-Atlas constitue l'un des cinq domaines géologiques du Maroc. Située dans la moitié Sud du Maroc, elle s'étend sur plus de 800 Km de long et de 200 Km de large depuis l'Atlantique à l'Ouest jusqu'au Hamada du Guir à l'Est de direction ENE-WSW. La chaîne est un vaste anticlinal récent avec des affleurements du socle Protérozoïque en son cœur sous forme de boutonnières bordées par la couverture Paléozoïque plissée. Elle est prolongée au Sud-Ouest par les chaînes du Zemmour et des Mauritanides d'orientation NE-SW, à l'Est par les chaînes de l'Ougarta d'orientation NW-SE. Cet ensemble dessinent un arc qui constitue la bordure Nord du craton Ouest africain (West African Craton : WAC). L'Anti-Atlas est limité au Nord par la faille Sud-atlasique qui le sépare du Haut Atlas et au Sud par le bassin de Tindouf constitué par la même couverture Paléozoïque de l'Anti-Atlas à la seule

différence qu'elle n'est point déformée (Robert-Charrue, 2006). 8 Dans son ensemble, il se subdivise en trois parties :

- L'Anti-Atlas occidentale qui s'étend depuis l'Atlantique jusqu'au piémont du Jbel Siroua.
- L'Anti-Atlas centrale qui inclue le Jbel Siroua et la région d'Ouarzazate.
- L'Anti-Atlas orientale qui regroupe le Jbel Saghro et l'Ougnat.

Cette subdivision est accentuée par l'Accident Majeur de l'Anti-Atlas qui sépare l'Anti-Atlas occidental de l'Anti-Atlas central et oriental.

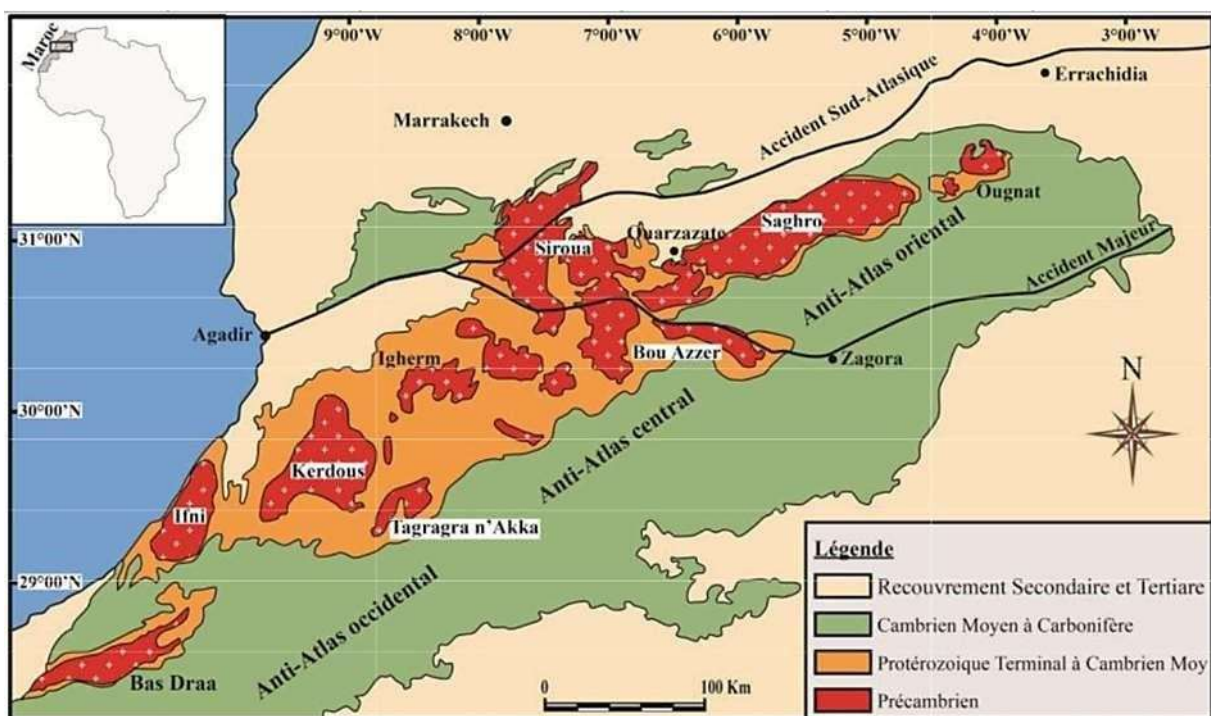


Figure 3: Carte géologique de l'Anti-Atlas (Leblanc, 1975 modifiée par Baïdier, 2007).

IV. Modèle géodynamique à 5 phases proposé pour l'Anti-Atlas :

- 800 - 750 Ma : rifting et rupture du Craton Ouest Africain (WAC) et dérive vers le nord du Craton Nord Marocain (NMC). Intrusion de la série d'Ifzwane, dépôt/extrusion du groupe inférieur de Bleida ;

- 750 - 700 Ma : subduction, croissance de l'arc insulaire (Schistes de Tachoukacht), mise en place de la Migmatite d'Iriri (743 Ma), dépôt du groupe inférieur de Sarhro (phase flysch) dans le bassin flysch de l'avant arc ;

- 660 - 580 Ma : inversion du vecteur de mouvement des plaques (dépôt de la partie clastique supérieure du groupe de Saghro), fermeture du bassin de l'avant-arc, collision arc continental (arc-accrétion), obduction, déformation et métamorphisme des ophiolites, magmatisme post-tectonique précoce (série Assarag), bassins proto-molassiques dans l'avant-pays (formation de Bou Salda, rhyolites) ;

- 580 - 550 Ma : Sédimentation et magmatisme molassiques post-tectoniques (Groupe de Ouarzazate et roches acides coexistantes) ;

- 550 - 540 Ma et plus jeunes : Développement d'un bassin d'avant-pays marin (Groupe de Tata et jusqu'aux strates paléozoïques). Évolution Précambrienne de la fenêtre de Sirwa, orogène de l'Anti-Atlas, Maroc. (Thomas et al. 2002).

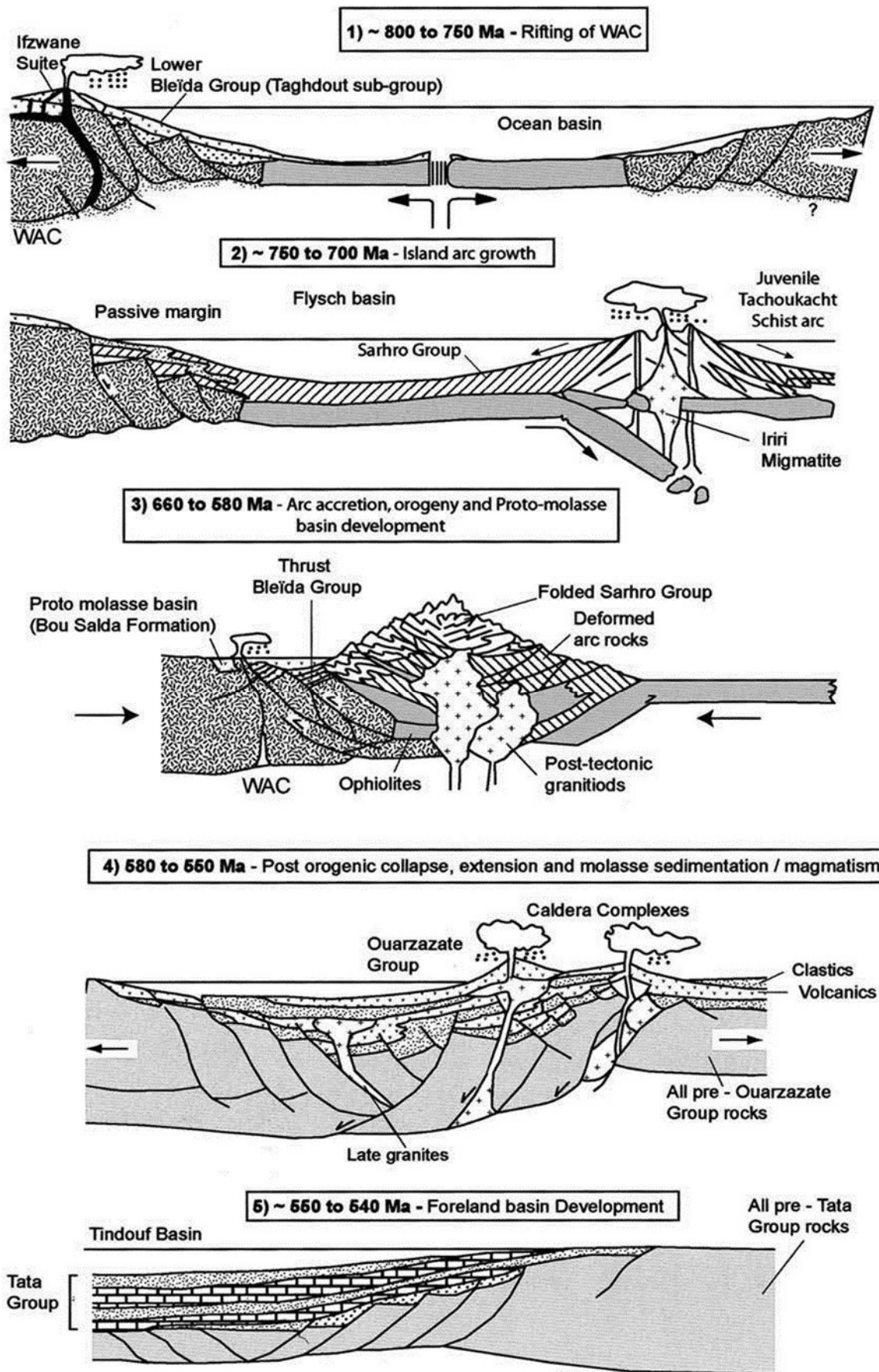


Figure 4: Modèle géodynamique à 5 phases proposé pour l'Anti-Atlas (Thomas et al., 2002).

V. Contexte métallogénique de l'Anti-Atlas

Le magmatisme Ediacarien serait à l'origine d'une intense circulation hydrothermale ayant généré des gisements métalliques avec une grande valeur économique à l'échelle de l'Anti-Atlas (Fig. 3) : Imiter et Zgounder (Ag-Hg), Bou-Azzer (Co-Ni-Ag-Au), Iourirn (Au), Bou Madine (Cu-Pb-Zn-Au-Ag...) (Gasquet et al 2008). Plusieurs études ont souligné l'importance de la phase de distension tardi-Néoprotérozoïque concernant la formation de gisements métalliques (Levresse, 2001 ; Cheilletz et al 2002 ; Levresse et al 2004 ; Tuduri 2005). Le gisement argentifère d'Imiter est le site le plus documenté.

D'après Levresse (2001) et Cheilletz et al (2002), la phase hydrothermale argentifère serait associée au développement d'un système de faille de direction N-E à NE-SW lié à une phase distensive de direction globale N-S qui s'accompagne d'un magmatisme rhyolitique important. L'utilisation couplée des méthodes U-Pb sur zircon et $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ sur muscovites ont permis de proposer un âge de $550 \pm 3\text{Ma}$ pour la minéralisation argentifère (Levresse, 2001 ; Cheilletz et al., 2002). A partir de ces données, un modèle épithermal neutre lié à la mise en place du magmatisme rhyolitique tardi-Néoprotérozoïque a été suggérée pour le gisement d'Imiter.

De plus une origine mantellique a été mise en évidence pour ces minéralisations (Levresse et al. 2004) posant ainsi la question de l'importance de cet événement distensif dans le cadre de transfert des éléments du manteau vers la surface. En revanche Essarraj et al. (2016) a proposé un modèle poste précambrien sur la base des inclusions basiques sans aucun magmatisme équivalent.

Enfin les phénomènes tectoniques et magmatiques post-Néoprotérozoïque pourraient être la source et le moteur convectif nécessaire à la formation des gisements à métaux précieux et métaux de base de l'Anti-Atlas.

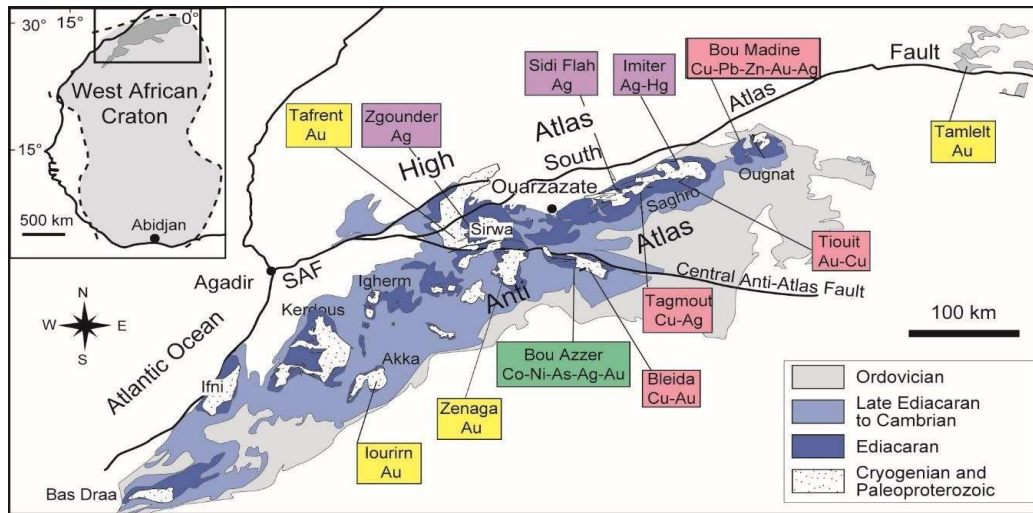


Figure 5: Carte géologique simplifiée montrant la distribution des districts et indices minéralisés de l'Anti-Atlas (Gasquet et al., 2008)

VI. Contexte géologique et géographique du massif de Saghro

Introduction

Le massif de Jbel Saghro s'étalant sur une superficie d'environ de 4000km², est limité au nord par les Vallées du Dades et du Toghdra, à l'est par l'Ougnat et Tafilalt, au sud par le Jbel Bani et à l'ouest par la Vallée du Draa. Ce massif allongé selon une direction NE-SW est constitué de formations précambriennes actuellement à l'affleurement au cœur de la boutonnières (Tuduri, 2005).

VII. Cadre lithostratigraphique du massif de Saghro

Le massif de Saghro est caractérisé par un socle précambrien et une couverture paléozoïque, le socle est constitué de deux groupes : groupe de Saghro qui composé par les pélites et des grauwackes intrudés par des plutons de diorites et de granodiorites (Fekkak et al. 2001) qui sont datés à 565–580 Ma, et le Groupe de Ouarzazate constitué de formations volcaniques et volcanoclastiques avec des granitoïdes datés du Néoprotérozoïque supérieur (Cheilletz et al. 2002).

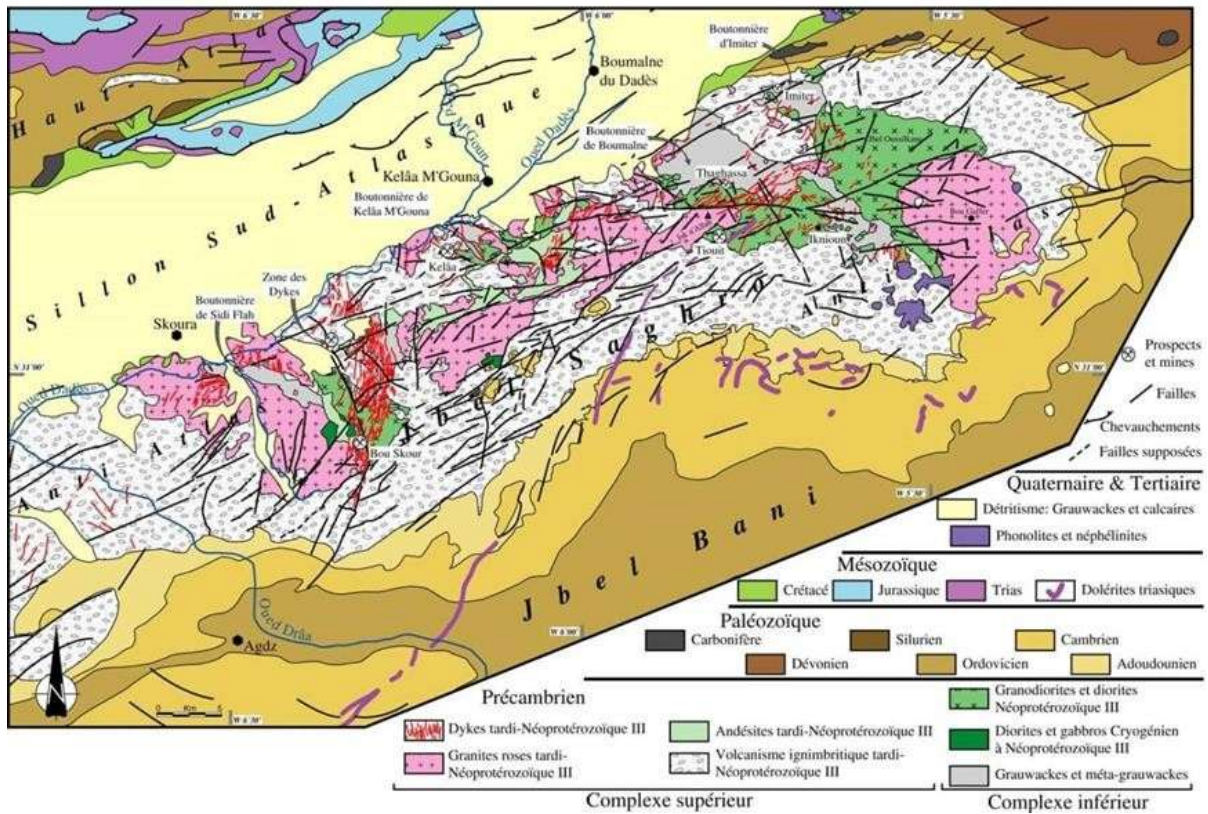


Figure 6: Carte géologique du Jbel Saghro (d'après Hindermeyer et al. 1977, modifiée d'après Tuduri 2005).

1. Structures tectoniques de Jbel Saghro

D'après Tuduri (2005) trois familles de structures tectoniques ont été distinguées (Fig. 7) :

- Structures orientées N060E à N090E sont les plus importantes, correspondent aux failles majeures observées sur le terrain, façonnent principalement le Jbel Saghro ;
- La seconde direction caractérise les structures kilométriques orientées N-S à N150°E ;
- La troisième famille correspond aux failles orientées N020 à N040°E, de faible extension, et se développant aussi dans les formations de Paléozoïque.

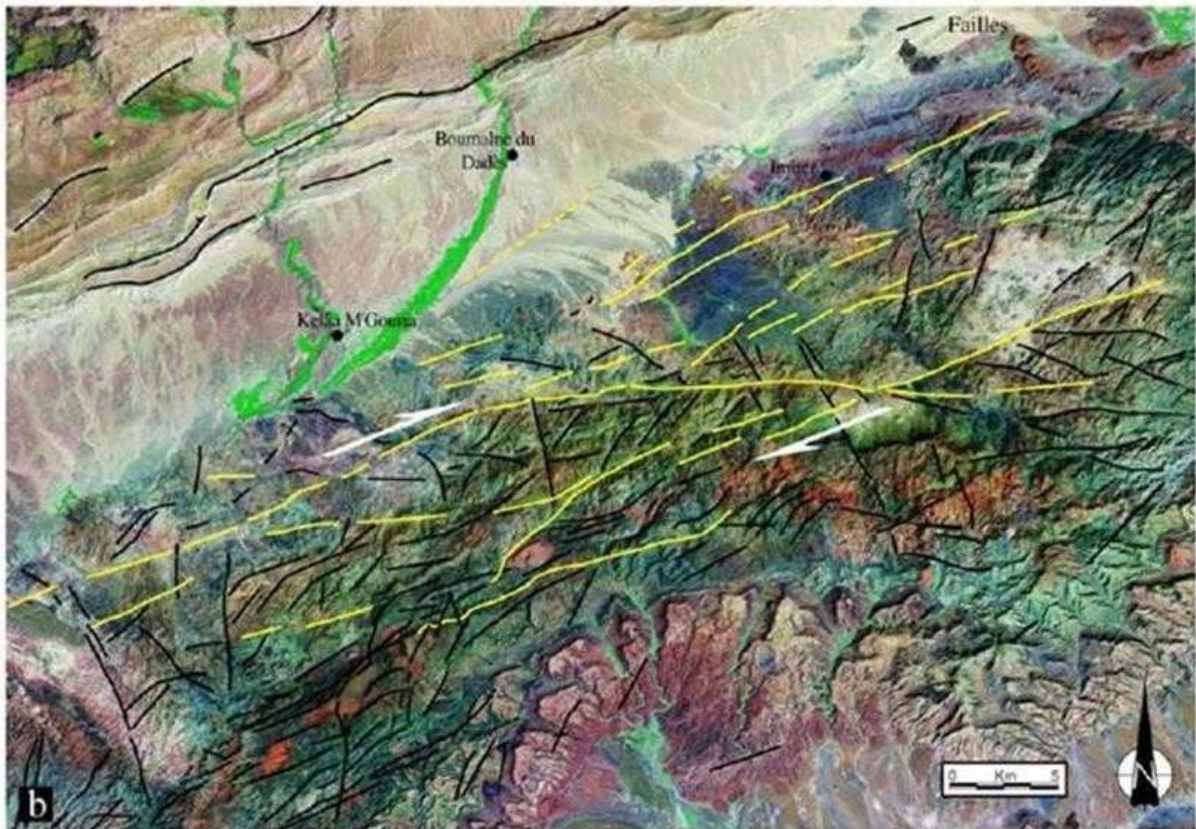


Figure 7: Image satellitaire montre des linéaments du Jbel Saghro : Caractérisation de la direction N060-090°E comme famille majeure. (Tuduri 2005).

Chapitre II :
La cartographie de la zone
d'étude

Introduction

La cartographie numérique est un outil indispensable pour un géologue par ce qu'il lui sert plusieurs choses à savoir le gain de temps, la simplicité de se localiser et s'orienter, l'identification des faciès et la compréhension des phénomènes géologiques et les investir dans le but de reconstituer la paléogéographie d'une région donnée en rassemblant les disciplines de la géologie et les informations contenues dans la carte.

De nos jours y ont pas mal des méthodes très importantes utilisées pour la cartographie numérique, parmi ces méthodes on retient celle de GPS GARMIN, c'est la méthode sur laquelle on s'est basé pour faire la cartographie de la zone d'étude.



Figure 8: GPS GARMIN

Le résultat final de l'utilisation de GPS GARMIN est une base de données SIG qui est précise, complète, cohérente et à jour. Cela conduit à une analyse plus précise et à une meilleure prise de décision.

I. Accès et situation géographique

La zone minière concernée par le permis minier LE, identifié sous le numéro 383719 dans le cadre de cette étude, est située à Igoulmass-Boulmaad, à une distance de 35 kilomètres en ligne droite au sud de la ville de Tinghir.

La zone d'étude se trouve au sud-est du pays, au cœur de la boutonnière précambrienne du Saghro, dans la chaîne montagneuse de l'Anti-Atlas Oriental.

Du point de vue administratif, elle est située dans les territoires de la commune rurale d'Iknioun, province de Tinghir, région Draa Tafilalet, dans la carte géologique d'Iknioun à l'échelle 1/50 000.

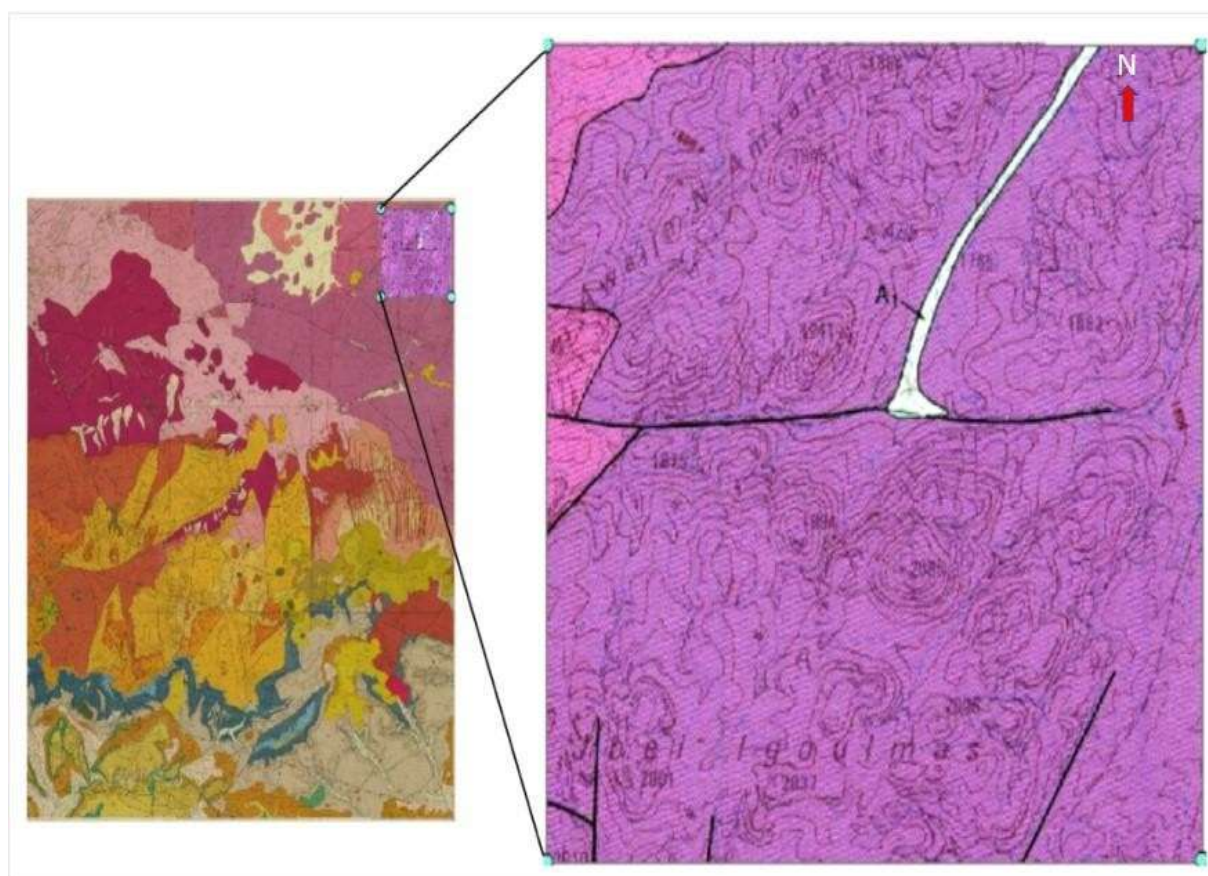


Figure 9: Extrait de la carte montrant la situation géographique du permis minier LE n° 383719, données de la carte géologique d'Iknioun à l'échelle 1/50000.

P1	P2	P3	P4
X=486344.10	X=490344.10	X=490344.10	X=486344.10
Y=72415.99	Y=72415.99	Y=68415.99	Y=68415.99

Tableau 1: Les coordonnées de permis minier LE n°383719.



Figure 10: vue d'une image satellitaire, montrant la situation géographique du permis minier LE n°383719.

II. Cadre géologique

Le permis minier LE est situé sur des structures géologiques appelées Monzodiorites ou plus spécifiquement les granites d'Oussilkane. Ces structures sont des formations du Néoprotérozoïque supérieur (NP3). Elles recoupent des couches épaisses de roches volcaniques et volcanoclastiques, telles que celles du groupe d'Ouarzazate. De plus, il existe des formations plutoniques sous la forme d'un batholite érodé, s'étendant sur une vaste zone de 200 km². Du point de vue de la morphologie, la partie ouest du permis est caractérisée par des collines élevées, tandis que sa partie centre-orientale est un plateau sableux étendu, parsemé de petits inselbergs, s'étirant vers le sud jusqu'à Iknioun.

Les principaux formations sont constitués par des monzonites quartziques et des monzogranites associés à des monzogabbros et des diorites quartziques. Ces formations

géologiques appelé la série des charnockites, et s'organisent sous forme des bandes subcirculaires occupant l'essentiel du massif. Dans le centre du massif les granites clair sont apparait et elles font partie du même complexe des charnockites. Ces roches particulièrement riches en enclaves sombres à une texture microgrenue.

Alluvions actuels et récents :

Comprennent les alluvions des fonds, au bord et à l'intérieur des oueds les plus grands. Ces alluvions sont d'âge quaternaire.

Les granites:

Le granite d'Arharrhitz (ou Akka 'BouTiouit):

Le massif d'Arharrhitz se situe au Sud-Est de la haute plaine d'Ihrem-Igourdane. Il est composé d'un corps intrusif qui traverse les granitoïdes d'Oussilkane et est en contact tectonique avec les granites à pyroxène de Bougafer.

Le granite d'Oussilkane :

Ces formations sont d'âge Néoprotérozoïque supérieur elles sont affleuré dans la partie Nord-Est de la carte géologique d'Iknioun, couvrent une grande partie de l'est de la carte géologique, elles sont cartographié dans la carte en tant qu'intrusion. Ces formations sont interprétées qu'elles sont provient d'une grande intrusion. Une grande partie de l'affleurement se compose de collines escarpées comme le cas de jbel Oussilkane (2304m) et celle d'Igoulmass à une altitude de 2085m (la zone d'étude).

Présentation de la carte géologique réalisée :

Sur le plan géologique, le secteur d'étude Boulmaad-Igoulmass est une zone montagneuse qui se localise sur des corps subvolcaniques et intrusifs. Ces formations dite les monzodiorites ou des granites d'Oussilkane. Le permis minier LE n° 383719 se localise dans le massif granitique de la boutonnière de saghro datée ou rattachée au néoprotérozoïque supérieur (NP3). Ces formations géologiques sont connues sous le nom des charnockites.

La zone d'étude a fait l'objet d'une cartographie géologique à ECHELLE 1/20000

La cartographie géologique est la base de toute opération minière profonde. Compte tenu de l'importance de l'indice de minéralisation dans la zone de Boulmaad-Igoulmass et comprend des caractéristiques géologiques du contexte, dans lequel se trouvent les structures

minéralisées, nous avons tenté à délimiter le gisement de la minéralisation déterminée, en produisant la carte géologique à l'échelle 1/20000 de la zone d'exploration. La région cartographiée est de 16 Km carrés au centre de la Boutonnière de Saghro.

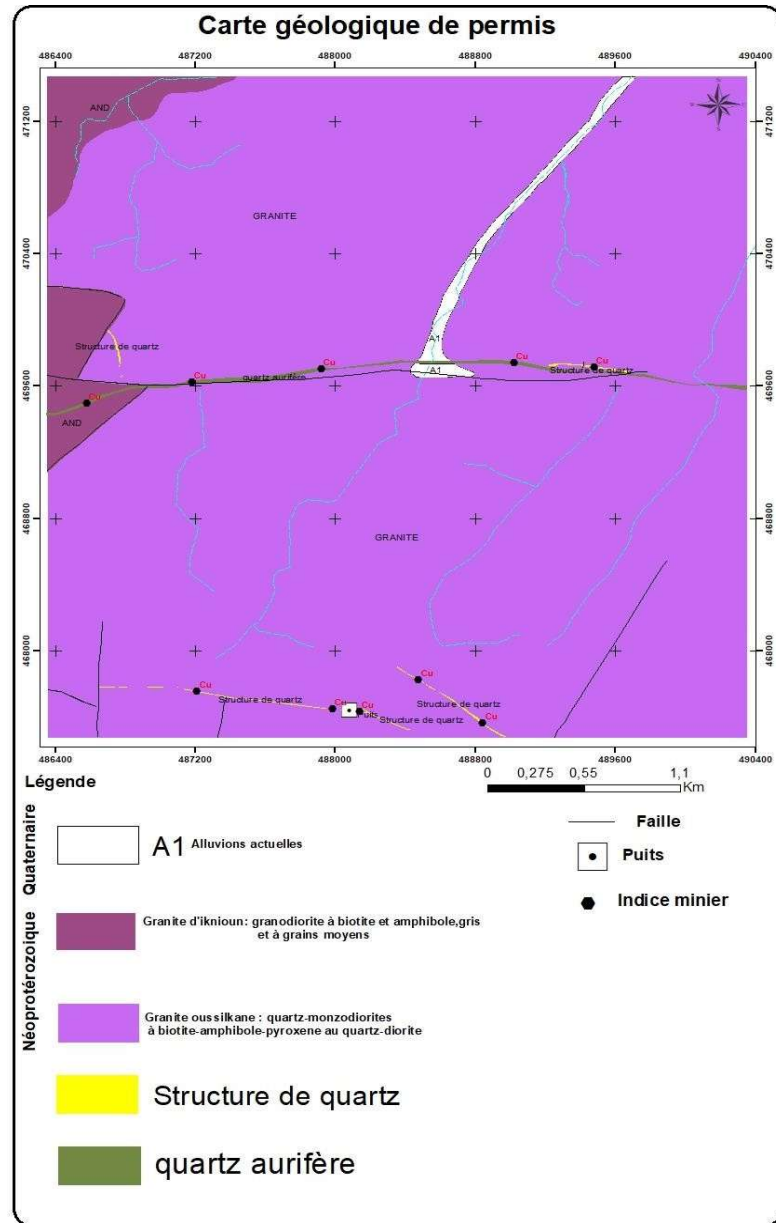


Figure 11: La carte géologique de permis minier LE.

La carte géologique réalisé de permis minier LE n° 383719 montre que la zone d'étude de point de vue géologique se situe sur des corps subvolcaniques intrusifs de massif granitique de saghro qu'elles sont des monzonites quartziques ou bien les granites d'Oussilkane.

Chapitre III : **Etude minéralogique**

I. Etude minéralogique

Introduction

Le secteur étudié (Boulmaad-Igoulmass) présente des structures minéralisées encaissées dans les formations formé essentiellement par des roches magmatiques dioro-monzonitiques. Ces structures sont des failles et des fractures remplies par la minéralisation sous l'effet de la circulation des fluides hydrothermaux avec une bréchification et une oxydation qui varie d'une part à d'autre en fonction tout d'abord de la nature de remplissage et puis de la nature de l'encaissant. La prospection par marteau à l'échelle globale du secteur d'étude permet de localiser les zones importantes de point de vue de la minéralisation. Elles correspondent au centre et l'extrémité sud de la zone d'étude là où se trouvent deux structures majeures.

1. La minéralisation de Cuivre :

La minéralisation dans la zone d'étude Boulmaad-Igoulmass s'intègre comme objet des travaux d'exploration et d'exploitation dans l'Anti-Atlas oriental, en effet vous pouvez penser que cela est prometteur à travers de riches des indices métalliques et gîtes minéralisées en cuivre. Dans la zone d'étude, l'injection filonienne est contrôlée par des fractures avec une direction dominante Est-Ouest. Ces fractures sont remplies par la minéralisation à concentration de cuivre dont la gangue est essentiellement quartzique.

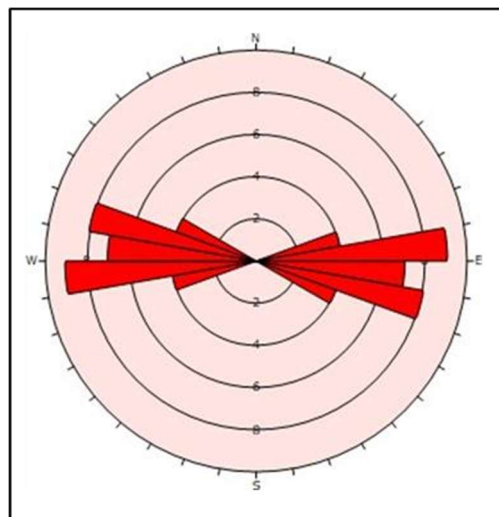


Figure 12: la représentation stéréographique des structures minéralisées

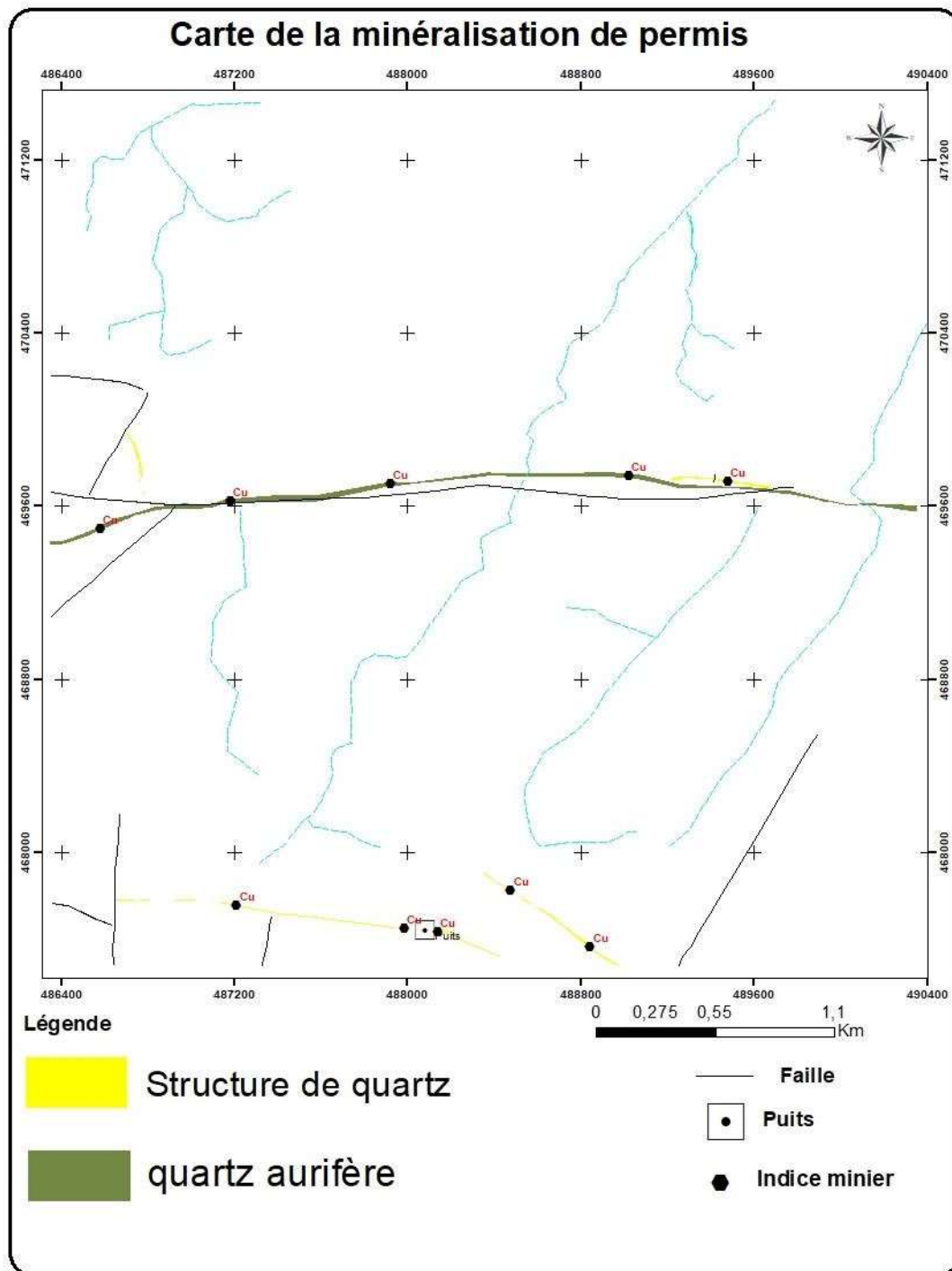


Figure 13: La carte des différentes structures minéralisées.

D'après la carte géologique réalisée et lors des missions de terrain effectuées à la zone d'Igoulmass-Boulmaad on a prospecté des structures minéralisées dont trois structures est majeures. La première structure traverse la moitié de permis. Cette structure est un filon de quartz avec la minéralisation de cuivre se trouve dans l'extrémité sud de permis. La deuxième structure se localise dans le centre et traversée tous le permis, c'est un filon de quartz aurifère (filon kilométrique).

Les missions de terrain effectuées nous ont permis de cartographier ces différentes structures minéralisées. Afin de déterminer les différentes zone qui comporte la minéralisation ainsi que leur encaissant qui est essentiellement formé par des roches magmatiques dioromonzonitiques.

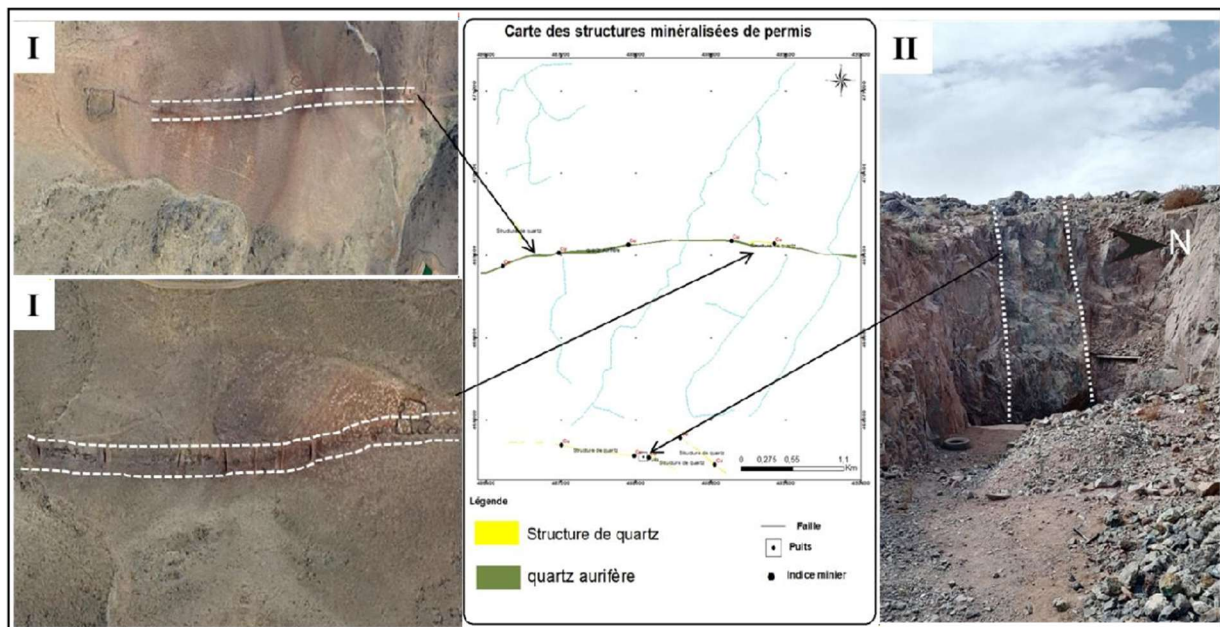


Figure 14: Localisation des structures minéralisées de permis dans la carte:

(I): Structure de quartz aurifère orientée E-W, **(II) :** Structure minéralisée de cuivre sous forme de malachite, Bornite, Chalcopryrite et la chalcosine.

2. Morphologie des filons minéralisés :

Comme nous l'avons vu dans la zone d'étude, et de point de vue minéralogique les structures minéralisées de cuivre dans la zone de Boulmaad-Igoulmass comprend des structures minéralisées avec une orientation Est-Ouest. Ces structures se présentent sous forme des filons de quartz avec une minéralisation cuprifère sous forme des lentilles et des fractures. Leur extension horizontale est variable d'un cas à l'autre. Elles varient d'une dizaine ou bien centaine de mètres avec une épaisseur variable qui peut atteindre plus de 10 m

comme le cas de la structure aurifère qui atteindrent plus de 6 m d'épaisseur et plus de 4 Km de longueur.

Lors des missions de terrain effectuées dans le secteur de Boulmaad-Igoulmass on rencontre les structures minéralisées et on peut diviser ces structures en deux zones :

❖ La zone I :

Cette zone est sous forme d'un filon kilométrique (traverse tous le permis 4km) se situe près de village de Boulmaad avec une direction Est-ouest et un pendage sub-vérticale, elle commence dans la partie orientale de permis se dirigent vers l'ouest sur une piste montante dans les formations volcaniques andésitiques. Recoupé par des filons de quartz et mylonites aurifères.

Cette structure est un filon d'oxyde de fer avec la présence des indices de minéralisation tel que la malachite et l'or d'après les analyses déjà réalisées. Les oxydes de fer sont très abondants dans cette zone, ils se présentent le plus souvent sous forme concentrique ou bien remplie les fractures affectant la structure et l'encaissant. A savoir l'hématite et la goéthite.

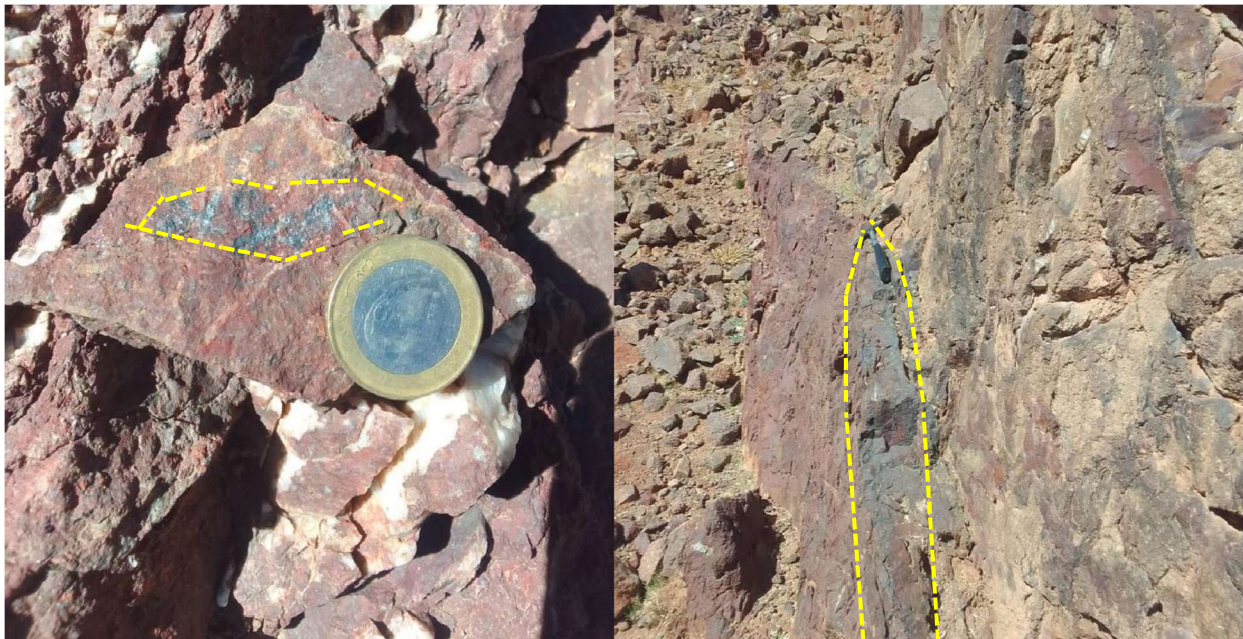


Figure 15:Photos montrent l'abondance des oxydes de fer.



Figure 16: la structure minéralisée contenant le quartz aurifère.

Coordonnées	Altitude	Direction	Longueur	Minéralisations	Puissance	Pendage
X : 490048 Y : 70542	1767m	E-W	Plus de 4km	(Quartz aurifère)	4m	Sub-Vertical

Table 1: Les caractéristiques de la structure minéralisée de quartz aurifère (Zone I)

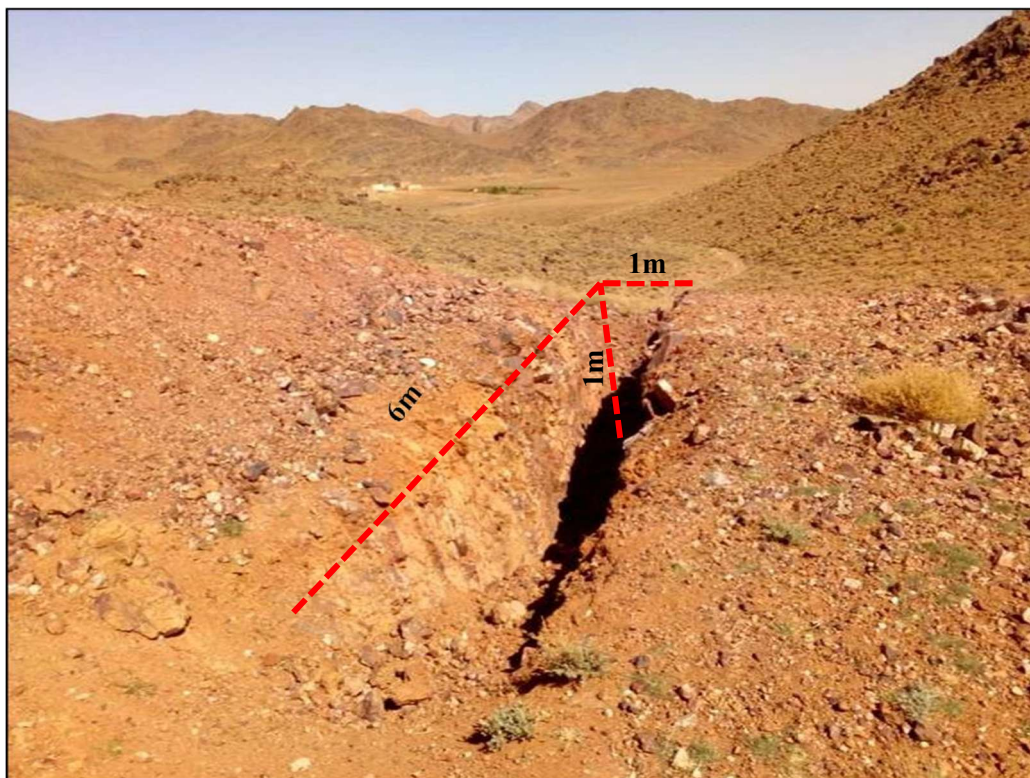


Figure 17:Tranché dans la structure de quartz aurifère dans la zone I

Coordonnées(m)	Largeur	longueur	profondeur	Minéralisations	Pendage
X : 489388 Y : 70624	1,5	8	2	(Quartz rose)	Vertical
X : 489338 Y : 70632	1	6	1	(Quartz rose)	Vertical
X : 489289 Y : 70632	1	6	2	(Quartz rose)	Vertical
X : 489 311 Y : 70670	1	5	1	(Quartz Blanche)	Vertical
X : 488885 Y : 70670	1	8	1,5	(Quartz)	Vertical
X : 488885 Y : 70670	1	8	1,5	(Quartz)	Vertical
X : 488811 Y : 70687	2	9	2	(Quartz)	Vertical
X : 488771 Y : 70693	1	0,5	10	(andésites altérés)	Vertical
X : 488759 Y : 70694	2	9	2	(Quartz)	Vertical
X : 488745 Y : 70693	1	9	2	(andésites altérés)	Vertical
X : 488811 Y : 70687	2	9	2	(andésites altérés)	Vertical
X : 488711 Y : 70686	1	3	0,4	(oxyde altérée)	Vertical
X : 488811 Y : 70687	2	9	2	(andésites altérés)	Vertical

Table 2: les caractéristiques des différentes tranchées réalisées sur la structure de quartz aurifère.

❖ **La zone II :**

Cette structure et un filon de quartz se trouve près de l'extrémité sud de permis minier LE, il s'agit d'un filon quartzique avec une minéralisation cuprifères sous forme de cuivre avec la présence de la malachite dans les épontes.

Coordonnées	Altitude	Filons	Direction	Pendage	Minéralisations	Puissance
X : 488102 Y : 68548	1942 m	1	E-W	Vertical	(Cuivre)	0,2m

Table 3: les caractéristiques de la structure minéralisée de quartz de la zone II

La minéralisation cuprifère de secteur d'étude précisément de la zone II est encaissée dans les andésites. Il est caractérisé par la richesse des oxydes de cuivre à savoir la malachite. Les épontes de la structure minéralisée sont formées par des andésites avec la malachite, le pendage de filon est sub-vérticale dans la partie sud occidentale là où se trouve des travaux sous forme d'un galerie riche en indice de minerai de cuivre, ce décapage a une longueur d'environ 50m, une largeur de 8m et une hauteur d'environ 1,75m, par contre la partie nord orientale le pendage devient moins que la partie sud occidentale est tend vers l'horizontalité en arc dans la partie décapée.

La minéralisation cuprifère a commencé par des indices minéralisés sous forme de la malachite près de la surface à quelques mètres de profondeur. Macroscopiquement ce minéral est facilement reconnaissable dans la zone d'étude grâce à leur couleur verte. Ce minéral est très répandu dans cette zone.

Après une dizaine de mètres de profondeur, la minéralisation de cuivre devenue plus concentrée sous forme de :

- ✓ **La chalcosine** : est un minéral qui fait partie des sulfures. C'est un sulfure de cuivre et de fer avec la formule chimique $CuFeS_2$. Elle est souvent associée à d'autres minéraux de cuivre dans les gisements de minerais de cuivre et se forme principalement dans des environnements géologiques hydrothermaux.

- ✓ **La bornite** : Comme la chalcosine, la bornite se forme principalement dans des environnements hydrothermaux. Elle est souvent associée à des gisements de cuivre et se forme à des températures modérées à élevées, résultant de l'interaction de fluides hydrothermaux riches en cuivre avec les roches environnantes. La bornite a une couleur caractéristique qui varie du bleu violet à bleu violacé.

- ✓ **La chalcopyrite** : est un minéral de cuivre et de fer, appartenant à la classe des sulfures. Sa formule chimique est $CuFeS_2$. C'est le minéral de cuivre le plus répandu et la principale source de cuivre dans le monde. Ce minéral se forme dans des environnements géologiques hydrothermaux, souvent associée à des intrusions magmatiques. Elle a une couleur jaune laiton à jaune cuivré.

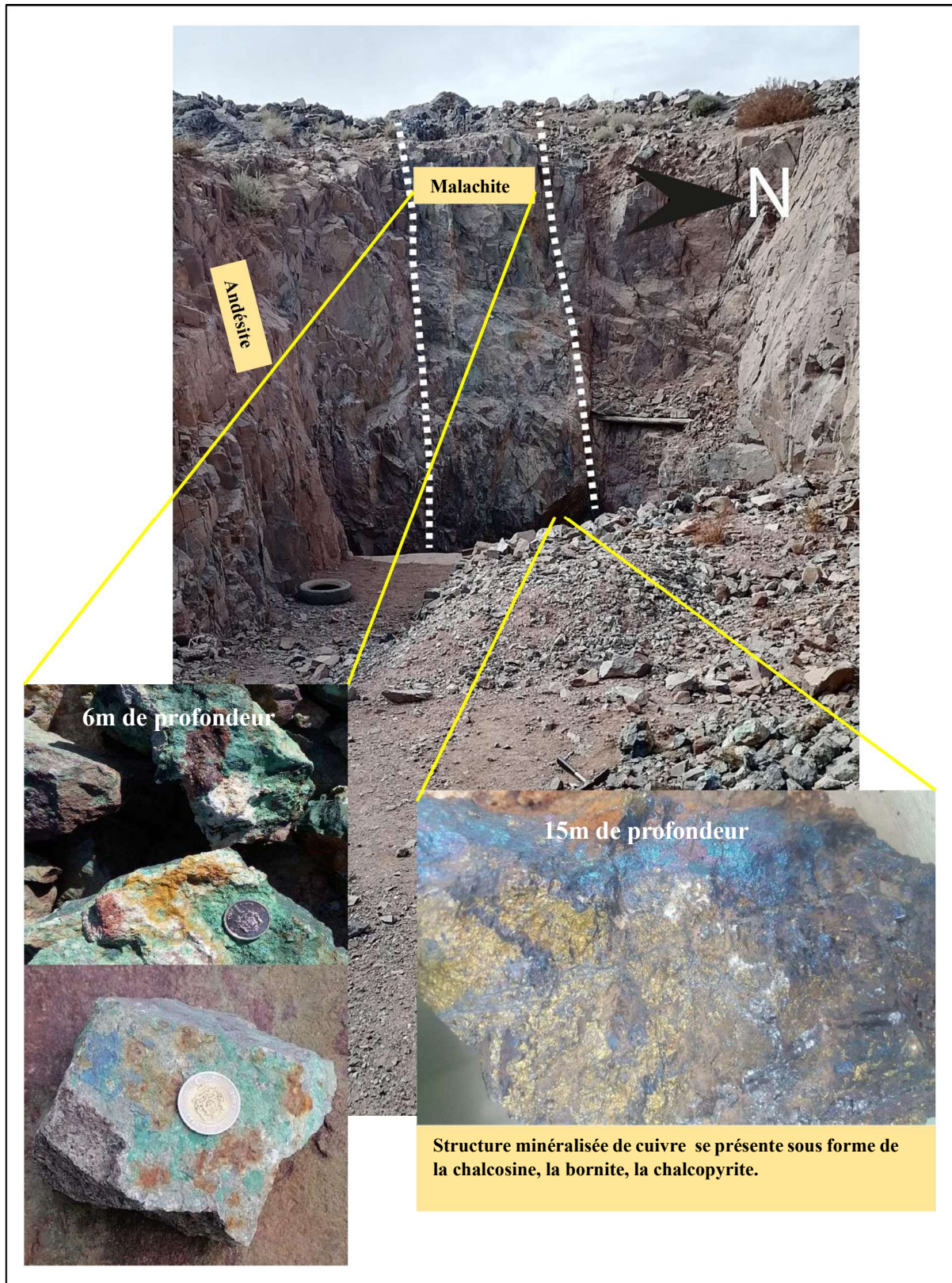


Figure 18: Image montre les travaux réalisés contenant le puits à son fond et la minéralisation selon la profondeur atteinte (malachite, bornite, chalcosine et chalcopyrite).

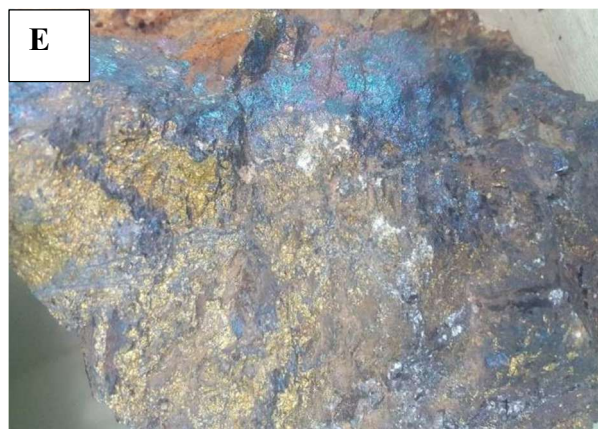
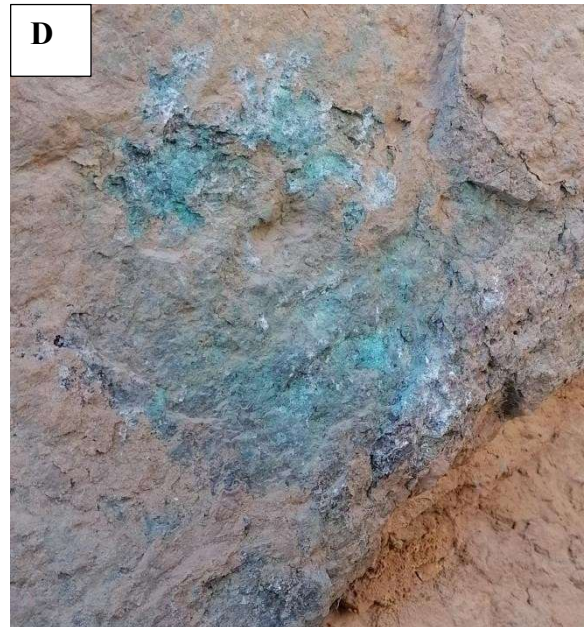
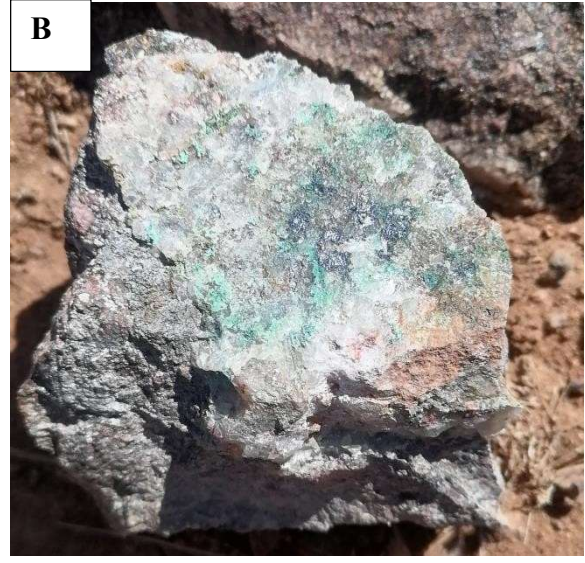


Figure 19: Images montrent la minéralisation cuprifère: A, B, C et D : la malachite E et F montre la chalcocine, la bornite et la chalcopyrite

II. Calcul des réserves :

L'analyse approfondie de la disposition de diverses structures minéralisées dans cette licence d'exploitation démontre une répartition adéquate des gisements minéraux mentionnés dans certaines zones (voir le tableau ci-dessous).

Zone	Minéralisation	Puissance moyenne de la minéralisation	Longueur apparente	Profondeur apparente	Masse volumique estimée
I	Quartz aurifère	4m	4000m	50m	2,65
II	Cuivre	0,2m	1200m	50m	4,1

Table 4: les mesures et les caractéristiques des minéralisations exploitables dans les deux zones de permis minier LE n° 383719

Il a été décidé de se restreindre au calcul des réserves des filons principaux présentant un potentiel significatif. La zone exploitable de ces filons s'étend principalement d'est en ouest sur une distance d'environ 4 km, selon les mesures totales des filons.

Les minéralisations ont un enracinement apparent de l'ordre de 50 mètres, vu la hauteur des reliefs porteurs de la minéralisation et aussi les puits effectués.

Nous avons subdivisé ces profondeurs de minéralisations en trois niveaux, bien que la continuité de celles-ci en profondeur ait été confirmée :

- ✓ De 0 à 50 mètres pour les réserves certaines ;
- ✓ De 50 à 100 mètres pour les réserves probables ;
- ✓ Plus de 100 mètres pour les réserves possibles.

Cette subdivision résulte du manque de travaux de reconnaissances et par voie de conséquences, celle-ci nous oblige à sous-estimer considérablement les potentialités minières des gisements.

1. Les réserves certaines :

Cependant pour ce cas précis, nous avons considéré les réserves certaines comme étant celles définies par les affleurements de minéralisations et qui apparaissent dans le flanc nord de la falaise calcaire.

Ces affleurements présentent une profondeur d'encrage visible de plus de 50 mètres au moins. Les travaux anciens précités ont confirmé effectivement la continuité de minéralisation en profondeur.

Quartz aurifères:

Les réserves certaines correspondent aux volumes estimés le long des axes des principaux filons, sur une profondeur de 50 mètres et une extension totale de 4000 mètres. La puissance estimée varie autour de 4 mètres.

Cuivre :

Les réserves certaines correspondent ainsi aux volumes estimés le long des axes des principaux filons, sur une profondeur de 50 mètres et une extension totale de 1200 mètres. La puissance estimée varie autour de 0.2 mètre.

2. Les réserves probables :

Les réserves probables se limitent aux encrages situés entre 50 et 100 mètres de profondeur des affleurements des filons principaux. Elles sont calculées en se basant sur la continuité du filon principal dans cette plage de profondeur, où la présence de minéralisation (cuivre ou quartz) a été confirmée par les affleurements et les dénivelés topographiques locaux. Ces réserves probables correspondent précisément aux extensions en profondeur des mêmes zones faisant l'objet des réserves certaines.

Normalement on peut ajouter à ces réserves les filons intermédiaires et les filons satellites. Mais pour une raison de simplification des calculs, nous avons écarté tous les autres structures de moindre importance.

Il est essentiel de mener une étude détaillée des réserves possibles afin de revoir, à court terme, les perspectives de récupération des gisements. De même, les méthodes d'exploitation envisagées pour cette première phase du redémarrage du projet doivent être examinées de près.

3. Les réserves possibles :

En ce qui concerne les réserves possibles, idéalement, on devrait prendre en considération l'ensemble des extensions des filons secondaires. Toutefois, dans un souci de simplification des calculs, nous nous sommes restreints aux extensions en profondeur des filons principaux (de 100 à 150 mètres). Il est à noter que les zones favorables dans l'ensemble du domaine du permis devraient normalement être prises en compte dans l'évaluation des réserves possibles.

Les calculs des réserves en tonnage des minerais cubé sur place pour l'ensemble des filons de permis sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

Type (Réserves)	Longueur (m)	Puissance (m)	Profondeur (m)	Volume (m3)	Densité moyenne	Tonnage (T)
Certaines	4000	4	50	800 000	2,65	2 120 000
Probables	4000	4	50	800 000	2,65	2 120 000
Possibles	4000	4	50	800 000	2,65	2 120 000
Total des Réserves de minerai de quartz			6 360 000 T			
Type (Réserves)	Longueur (m)	Puissance (m)	Profondeur (m)	Volume (m3)	Densité moyenne	Tonnage (T)
Certaines	1200	0,2	50	12 000	4,1	49 200
Probables	1200	0,2	50	12 000	4,1	49 200
Possibles	1200	0,2	50	12 000	4,1	49 200
Total des Réserves de minerai de Cuivre			147 600 T			

Table 5: Tableau montre les calculs des réserves en Tonnage cubé.

III. Méthodes d'exploitation et recommandations

En raison de la nature des terrains encaissants, il est impératif d'adopter une méthode d'exploitation appropriée pour garantir une récupération efficace des minéralisations. En général, l'exploitation des filons, caractérisés par des puissances variables allant des couches

minces aux filons d'ouvertures relativement larges, fait appel à plusieurs méthodes. Le choix de la méthode repose sur divers critères technico-économiques, notamment la valeur marchande du produit et la structure géomorphologique des minéralisations, ainsi que leurs accès.

L'exploitation sera réalisée au moyen de puits et de cheminées d'aération reliés par des galeries souterraines, particulièrement étant donné que la configuration des filons est bien comprise grâce aux travaux préalables.

L'objectif de l'étude du processus d'abattage mécanique des roches est de comprendre les aspects généraux liés à la coupe des roches, en particulier celles qui sont très dures et/ou très abrasives. Cela vise à identifier les impératifs à respecter lors de l'optimisation et/ou de la conception des dispositifs d'abattage.

Le champ technique et scientifique englobé par l'abattage mécanique est assez vaste, incluant la mécanique des roches, la théorie de la rupture, et la science des matériaux pour étudier l'interaction entre un outil de coupe et la roche. Il couvre également la mécanique lorsqu'il s'agit d'analyser les efforts sur la tête d'abattage, ainsi que l'équilibre statique et dynamique du système d'abattage.

La zone I :

Sur cette zone, une vingtaine de tranchées superficielles ont été réalisées perpendiculairement au filon de quartz. Les analyses effectuées ont révélé la présence d'or avec une teneur de 4g/t. Par conséquent, il est nécessaire de réaliser des sondages carottés sur le filon, en suivant les points indiqués par le géologue, afin d'analyser les carottes obtenues.

La zone II :

Il s'agit d'une zone de cuivre de qualité, avec la quasi-totalité du filon encore inexploité. Ce filon s'étend sur environ 1,2 km et semble considérablement plus large à son extrémité occidentale, aux coordonnées X: 487088 ; Y: 68466. À ce point précis, la structure se manifeste en surface sous forme de brèches dans la roche encaissante, cimentées par du quartz avec des traces de chalcosine et des auréoles de malachite. C'est à cet endroit qu'il est recommandé de réaliser un deuxième puits.

Conclusions

L'un des principaux objectifs de cette étude est de fournir une orientation géologique plus précise pour les travaux d'exploitation dans le permis minier LE n°383719. L'objectif est de minimiser les dépenses inutiles tout en appliquant des méthodes d'exploitation adaptées à la fois en termes de sécurité et de rendement.

En combinant les caractères géologiques et minéralogiques, on peut conclure la présence d'anomalies de l'élément recherché (la minéralisation cuprifère). Dans la zone de Boulmaad-Igoulmass On peut distinguer deux zones riches en minéralisations (la zone I qui se localise dans le centre de permis sous forme d'un filons kilométrique de quartz aurifère et la zone II qui se trouve à l'extrémité sud de permis sous forme d'un filon de quartz avec la minéralisation cuprifère bien concentrée) le plus important ce localisé dans la partie Sud de permis précisément dans la zone II et l'autres moins importants que ce localise dans la partie centrale de permis.

Les perspectives proposées sont les suivantes :

- Serrer une maille d'échantillonnage sur les structures qui présentant des indices et des anomalies (indique sur les cartes réalisés), dans tous le permis précisément dans la partie centrale et la partie sud. En concentrant les échantillonnages sur les zones où des anomalies ont été identifiées, ce qui nous permet d'obtenir des données plus ciblées et significatives.
- Réalisation des études géophysique à savoir la méthode magnétique. Cela permet de cibler des anomalies et comprendre la géométrie des structures minéralisées.
- Réaliser plus des tranchées d'exploration dans la structure de quartz qui se localise dans la partie sud de permis minier LE d'une manière perpendiculaire aux filons minéralisés afin de mesurer le pendage réel de ces filons. Cette information est importante pour comprendre la géométrie des filons et peut aider à orienter les futures activités d'exploration (sondages).
- En cas de résultats encourageants, proposer la réalisation de sondages carottés. Cela permet d'évaluer l'extension possible en profondeur de la minéralisation cuprifère et d'estimer le potentiel économique de la zone.